

Low pressure sensor for gas or liq. - has pressure membrane carried monolithically in frame

Patent Number: DE4021424
Publication date: 1991-01-24
Inventor(s): GERLACH GERALD DR ING (DE); LOEFFLER FRANK DR ING (DE); WERTHSCHUETZKY ROLAND DR SC TE (DE); ZWIEBLER RALF DIPL ING (DE)
Applicant(s): TELTOV GERAETE REGLER (DE)
Requested Patent: ☐ DE4021424
Application Number: DE19904021424 19900705
Priority Number (s): DD19890330660 19890711
IPC Classification: G01L9/08; G01L9/12
EC Classification: G01L9/00D1, G01L9/00D2B2
Equivalents: ☐ DD285831

Abstract

A semiconducting pressure sensor for low pressure consists of membrane (1) carried monolithically in a clamping frame (2) and a flexurally stiff centre (3) monolithically enclosed by the membrane. The latter contains parts of an electromechanical transducer or its centre is part of one.

The membrane has two or more narrow sections (1a) narrower than the centre and wider regions connecting them. The membrane is of constant thickness.

USE/ADVANTAGE - Measuring low static and dynamic pressures, pref. below 1kPa, in gases and fluids.
Reduced mfg. costs.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑪ **DE 4021424 A1**

⑤① Int. Cl. 5:
G 01 L 9/08
G 01 L 9/12

②① Aktenzeichen: P 40 21 424.9
②② Anmeldetag: 5. 7. 90
②③ Offenlegungstag: 24. 1. 91

DE 4021424 A1

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①
11.07.89 DD WP G 01 L/330660

⑦① Anmelder:
Geräte-und Regler-Werke Teltow GmbH, O-1530
Teltow, DE

⑦② Erfinder:
Gerlach, Gerald, Dr.-Ing., O-8020 Dresden, DE;
Löffler, Frank, Dr.-Ing., O-1597 Potsdam, DE;
Werthschützky, Roland, Dr.sc.techn., O-1532
Kleinmachnow, DE; Zwiebler, Ralf, Dipl.-Ing., O-8010
Dresden, DE

⑤④ **Drucksensor für kleine Drücke**

Die Erfindung betrifft einen Drucksensor mit biegesteifem Zentrum für die Messung sehr kleiner Drücke der aufgabengemäß mit einer einheitlichen Membrandicke auskommt und auf zusätzliche Biegefedern verzichtet.

Erreicht wird das dadurch, daß die Druckmembran zwischen Einspannungsrahmen des Halbleitersubstrates und biegesteifem Zentrum mindestens zwei Abschnitte mit einer Breite aufweist, die kleiner als die Abmessungen des biegesteifen Zentrums sind, und daß die Bereiche zwischen diesen Abschnitten eine Breite aufweisen, die größer als die Breite der schmalen Abschnitte ist, wobei der größte Teil dieser Bereiche eine wesentlich größere Breite als die der schmalen Abschnitte aufweist.

Die schmalen Abschnitte der Druckmembran enthalten Teile eines elektromechanischen Wandlers (z. B. piezoresistive Widerstände, piezoelektrische Schichten) oder aber das biegesteife Zentrum ist Teil eines elektromechanischen Wandlers (z. B. Differentialkondensator).

DE 4021424 A1

AM

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Messung von statischen und dynamischen Drücken in Gasen und Fluiden für kleine Nenndruckbereiche, vorzugsweise unterhalb von 1 kPa.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Druckwandler auf Halbleiterbasis realisieren vorzugsweise ein piezoresistives oder kapazitives Meßprinzip (S. K. CLARK, thin-diaphragm pressure sensors, IEEE Transactions on Electron Devices ED-26 (1979) 12, S. 1887—1895). Dabei werden die Auslenkungen einer Druckmembran oder infolge der Auslenkung in der Druckmembran hervorgerufene mechanische Spannungen oder Dehnungen in elektrische Ausgangssignale umgesetzt. Die Druckmembran wird dazu durch lokales Abdünnen eines Halbleitersubstrates, vorzugsweise aus Silizium, erzeugt, so daß sie monolithischer Bestandteil des Drucksensorschips ist.

Übliche Ausführungen von Drucksensoren mit homogenen Druckmembranen weisen Verformungskörper auf, die Rechteck- (z. B. DD 1 37 166), Quadrat- (z. B. DE 35 38 453, US 44 00 681), Kreis- (z. B. DD 1 33 714, DE 28 56 708, US 44 39 752) oder Achteckform (z. B. DD 1 50 376, DE 33 45 988) besitzen.

Für kleine Nenndruckbereiche wächst jedoch für alle Plattenformen der Linearitätsfehler stark an (H. M. HELM u. a.: Zur Nichtlinearität dünner Rechteck-Wandler-Platten, Feingerätetechnik 28 ((1979) 3, S. 126—129; A. LENK, U. MENZEL: Nichtlinearität dünner Kreisplatten als Wandler von Drücken in mechanische Spannungen und Ausschläge, Feingerätetechnik 30 (1981) 2, S. 56—60; A. LENK, K. SAGER: Linearitätsfehler der mechanischen Spannung und des Ausschlages kreisringförmiger Druckmeßplatten, TU-Information 09-03-86, TU Dresden, Sektion Informationstechnik 1986). Das führt dazu, daß bei maximal zulässigem Linearitätsfehler die Empfindlichkeit piezoresistiver Drucksensoren unterhalb einer bestimmten Grenze mit kleiner werdendem Nenndruck abnimmt (J. BINDER u. a.: Silicon pressure sensors for the 2 kPa to 20 MPa range, Siemens Forschungs- und Entwicklungsberichte 13 (1984) 6, S. 294—302) und sich dadurch die endwertbezogenen Fehlerkennwerte proportional der Empfindlichkeitsverringerung vergrößern. Diesem Effekt kann durch besondere konstruktive Ausführungen von Halbleiterdruckwandlern für kleine Meßbereiche auf mehreren Wegen entgegengewirkt werden, bei denen das Auftreten von nichtlinearen Membran-Spannungen im Verformungskörper des Meßelementes erheblich verringert wird:

1. In der Druckmembran befindet sich ein biege-
steifes Zentrum. Der mechanische Verformungs-
körper ist damit z. B. eine Quadrat- (US 42 36 137,
SU 13 03 857) oder Kreisringmembran (US
33 41 794, SU 14 08 263).

2. In der Druckmembran sind zwei biege-
steife Zentren realisiert, wobei der Spalt zwischen beiden
Bereichen als Biegefeder wirkt (US 40 55 970, SU
14 04 852).

3. Die Druckmembran ist an eine Biegefeder ge-
koppelt, deren elektromechanisches Wandlerele-

ment, meistens piezoresistiv, ein druckproportiona-
les Ausgangssignal erzeugt (DD 2 13 758). Druck-
membran und Biegefeder können monolithisch ver-
bunden sein (DD 2 62 307, US 45 70 496, SU
12 10 076).

Diese Varianten sind vorteilhaft im Druckbereich un-
ter 10 kPa einsetzbar, führen jedoch für Nenndrücke
von (0,1 ... 1 kPa) ebenfalls zum Ansteigen des Lineari-
tätsfehlers bis in den Prozentbereich.

Aus diesem Grunde werden für den Druckbereich
unterhalb von 100 Pa, z. T. bereits unter 1 kPa, Druck-
sensoren mit biegesteifem Zentrum vorgeschlagen, de-
ren Druckmembran kleine dickere Bereiche in Balken-
form, die als Biegefedern wirken und die Nachgiebigkeit
des Verformungskörpers bestimmen, und sehr dünne
Bereiche, die nur zur Druckabdichtung dienen, besitzen
(US 45 70 498). Druckmembran und biegesteifes Zen-
trum sind vorteilhafterweise wiederum quadratisch
(H. REIMANN: New mechanical structures to achieve
low pressure silicon sensors and accelerometers, Kon-
greßunterlagen zur Sensor 88, Nürnberg: AMA 1988
S. 265—280) oder kreisförmig (Y. MATSUOKA u. a.:
Differential pressure/pressure transmitters applied with
semiconductor sensors, IEEE Transactions on Industrial
Electronics IE-33 (1986) 2, S. 152—157).

Diese Verformungskörper weisen gegenüber den ho-
mogenen Druckmembranen mit biegesteifem Zentrum
eine wesentliche geringere Steifigkeit hinsichtlich des
Ausschlages des biegesteifen Zentrums bei Druckbela-
stung auf, da der Beitrag der sehr dünnen Bereiche der
Druckmembran gegenüber dem der Biegefederelemen-
te zur Gesamtsteifigkeit sehr gering ist. Damit wird die
Nennauslenkung bereits bei wesentlich kleineren Nen-
ndrücken erreicht, ohne daß eine Erhöhung des Lineari-
tätsfehlers eintritt (G. GERLACH: Die Berechnung der
Linearitätsfehler piezoresistiver Druckaufnehmer mit
analytischen Ansätzen, Forschungsbericht 20/87, TU
Dresden, Sektion Informationstechnik 1987).

Jedoch ergeben sich durch die unterschiedlichen Dik-
ken der beiden Bereiche der Druckmembran Nachteile
für die Herstellung des Verformungskörpers, die für
Sensoren auf Halbleiter-, speziell auf Siliziumbasis übli-
cherweise durch naßchemisches Ätzen erfolgt (K. E. PE-
TERSEN: Silicon as a mechanical material, Proceedings
of the IEEE 70 (1982) 5, S. 420—457). Verfahrenstech-
nisch vorteilhaft ist die Abdünnung unter Ausnutzung
von Ätzstoppmechanismen. Infolge der unterschiedli-
chen Tiefe der Einätzungen für die beiden Membranbe-
reiche ist nur eine der Dicken reproduzierbar einstell-
bar, während die andere Dicke nur durch Abbruch des
Ätzprozesses nach einer vereinbarten Zeit möglich ist,
so daß verfahrensbedingt erhebliche Dicken toleranzen
auftreten können. Bei Verzicht auf Ätzstoppverfahren
sind zur Herstellung der erforderlichen Verformungs-
körperstruktur mindestens zwei Ätzschritte erforder-
lich, wobei wiederum zwei getrennte Ätzmasken not-
wendig sind.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung besteht in der Verringerung
des Herstellungsaufwandes von Drucksensoren für sehr
kleine Nenndruckbereiche.

Darstellung des Wesens der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, einen Drucksensor mit

biegesteifem Zentrum für die Messung sehr kleiner Drücke zu schaffen, der ohne Biegefedern auskommt und dessen Druckmembran eine einheitliche Dicke aufweist.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Druckmembran zwischen Einspannrahmen des Halbleitersubstrates und biegesteifem Zentrum mindestens zwei Abschnitte mit einer Breite aufweist, die wesentlich kleiner als die Abmessungen des biegesteifen Zentrums sind, und daß die Bereiche zwischen diesen Abschnitten eine Breite aufweisen, die größer als die Breite der schmalen Abschnitte ist, wobei der größte Teil dieser Bereiche eine wesentlich größere Breite als die der schmalen Abschnitte aufweist. Die schmalen Abschnitte der Druckmembran enthalten Teile eines elektromechanischen Wandler (z. B. piezoresistive Widerstände, piezoelektrische Schichten) oder aber das biegesteife Zentrum ist Teil eines elektromechanischen Wandler (z. B. Differentialkondensator). Da bei konstanter Dicke der Druckmembran die Bereiche mit großer Breite eine wesentlich kleinere Nachgiebigkeit hinsichtlich der Auslenkung des biegesteifen Zentrums durch den Meßdruck aufweisen als die schmalen Abschnitte, wird die Gesamtnachgiebigkeit des Verformungskörpers im wesentlichen durch die Nachgiebigkeit der schmalen Teile der Druckmembran bestimmt. Damit wird die Nennauslenkung des biegesteifen Zentrums bei wesentlich geringeren Nenndrücken erreicht, ohne daß sich die Membranspannungen in den schmalen Bereichen der Druckmembran erhöhen. In dem Verhältnis, wie sich der Anteil der schmalen Abschnitte der Druckmembran verkleinert, verringert sich die Steifigkeit der Druckmembran und damit auch bei gleichbleibendem Übertragungsfaktor und Linearitätsfehler der Nenndruckbereich.

Infolge der einheitlichen Dicke der Druckmembran ist ihre Herstellung in einem Ätzschritt unter Nutzung einer einzelnen Ätzmaske möglich. Durch die Anwendung eines Ätzstoppverfahrens kann die Dicke der Druckmembran homogen und reproduzierbar realisiert werden.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachstehend an Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Dabei zeigen

Fig. 1 bis 3 Draufsicht und Querschnitte eines erfindungsgemäß ausgeführten piezoresistiven Drucksensors und

Fig. 4 bis 8 weitere Beispiele erfindungsgemäß ausgeführter Drucksensoren.

Gemäß Fig. 1 bis 3 besteht der Drucksensor aus einer Druckmembran 1, die monolithisch aus einem Halbleitersubstrat, das vorzugsweise aus Silizium besteht, lokal abgedünnt ist, wobei der die Druckmembran 1 im Inneren enthaltene unabgedünnte Teil des Halbleitersubstrates den Einspannungsrahmen 2 bildet.

Die Druckmembran 1 weist eine im Rahmen der Toleranzen der Halbleitersubstrateigenschaften und des Abdünnprozesses gleichmäßige Dicke auf. Im Inneren der Druckmembran 1 befindet sich ein biegesteifes Zentrum 3, mit einer Dicke h_3 , die gleich der Dicke h_2 des Einspannungsrahmens 2, infolge eines zusätzlichen Ätzprozesses aber auch kleiner als die Dicke h_2 des Einspannungsrahmens 2 sein kann. Die Dicke h_3 des biegesteifen Zentrums 3 ist jedoch immer wesentlich größer als die Dicke h_1 der Druckmembran 1. Das biegesteife Zentrum weist bevorzugt bei Verwendung anisotrop-

wirkender naßchemischer Ätzmittel zum Abdünnen der Druckmembran eine quadrat- oder rechteckähnliche Form bei Verwendung isotrop wirkender Ätzmischungen bevorzugt Kreisform auf (Fig. 4).

Die Druckmembran 1 besitzt zwei schmale Abschnitte 1a mit der Breite b_1 und zwei Bereiche 1b mit einer Breite $b_2 > b_1$ oder $b_2 \gg b_1$. Das führt dazu, daß die Gesamtsteifigkeit der Druckmembran 1 im wesentlichen durch die schmalen Abschnitte 1a bestimmt wird, da die Nachgiebigkeit (reziproke Steifigkeit) einer Streifenmembran proportional der dritten Potenz ihrer Breite ist. Die Gebiete 1b großer Breite b_2 haben damit nahezu nur druckabdichtende Wirkung.

In oder auf den schmalen Abschnitten 1a der Druckmembran 1, in denen infolge des Meßdruckes p die großen mechanischen Spannungen bzw. Dehnungen wirken, sind piezoresistive Widerstände 4 angeordnet, die beispielsweise als Vollbrücke geschaltet sein können, und die ein druckproportionales elektrisches Ausgangssignal erzeugen.

Durch Verringerung der Abmessungen der schmalen Abschnitte 1a der Druckmembran 1 läßt sich die Steifigkeit des Verformungskörpers weiter reduzieren, so daß die Empfindlichkeit des Drucksensors erhöht wird bzw. bei konstant gehaltenem Linearitätsfehler und Übertragungsfaktor der Nenndruckbereich weiter verringert wird (Fig. 5 bis 7). Im allgemeinen kann die Druckmembran 1 so gestaltet werden, daß entweder der Einspannungsrahmen 2 oder das biegesteife Zentrum 3 eine regelmäßige geometrische, z. B. quadratische, rechteckige oder kreisrunde Form besitzen (Fig. 5 und 6), es sind jedoch auch konstruktive Lösungen möglich, bei denen die schmalen Abschnitte in der Druckmembran 1 durch Zwingen 5 realisiert sind, die Bestandteil des Einspannungsrahmens 2 bzw. des biegesteifen Zentrums 3 sind und deren Dicke aufweisen (Fig. 7).

Fig. 8 und Fig. 9 zeigen Ausführungsbeispiele, bei denen die schmalen Abschnitte 1a der Druckmembran 1 durch Ausnutzung der Unterätzung der konvexen Ecken 6 des biegesteifen Zentrums 3 kleine Längen besitzen. Dieser Anwendungsfall betrifft die anisotrop wirkenden naßchemischen Ätzmittel für Halbleitersubstrate, die bekanntermaßen an konvexen Ätzstrukturen schnellätzende Kristallflächen schaffen, die mit größter Ätzrate abgetragen werden.

Die Druckplatte 1 der Anordnung von Fig. 9 besitzt dabei insgesamt vier räumlich getrennte schmale Abschnitte 1a. Durch eine Anzahl von mehr als zwei solcher schmalen Abschnitte 1a, insbesondere bei symmetrischer Anordnung, werden Tautelbewegungen des biegesteifen Zentrums 3, die infolge der Dickentoleranz der Druckmembran bei dynamischer Druckeinwirkung entstehen können, weitestgehend vermieden.

Für das an Hand Fig. 1 beschriebene Ausführungsbeispiel wurden gute Ergebnisse mit der nachstehend beschriebenen konkreten Ausführung erreicht.

Das einkristalline Silizium-Ausgangssubstrat besitzt die Orientierung (100) und eine Dicke von $h_2 = h_3 = 350 \mu\text{m}$. Das quadratförmige biegesteife Zentrum 3 weist eine Kantenlänge von 5 mm auf und besitzt wie oben angegeben die gleiche Dicke wie der Einspannrahmen 2. Die Breite b_1 der schmalen Abschnitte 1a beträgt 0,5 mm und die Breite b_2 der Bereiche 1b beträgt 2 mm. Die piezoresistiven Widerstände weisen einen spezifischen Widerstand von $\bar{\rho} = 65 \text{ m}\Omega\text{cm}$ auf, haben eine Länge von $100 \mu\text{m}$ und eine Breite von $20 \mu\text{m}$. Der Abstand der Widerstandsbahn vom Einspannrahmen 2 bzw. biegesteifen Zen-

trum 3 ist 25 µm. Bei der angegebenen Ausführung für einen Nenndruck von 500 Pa wurde ein Linearitätsfehler von 0,1% sowie eine Empfindlichkeit von $\frac{\Delta R}{R} = 0,5\%$ ermittelt.

Im vorliegenden Beispiel beträgt das für die Erfindung wesentliche Verhältnis von $b_2/b_1 = 4$. Unter der Formulierung $b_2 > b_1$ soll mindestens der Faktor 2, d. h. $b_2 \geq 2b_1$ verstanden werden, wogegen $b_2 \gg b_1$ bis in die Größenordnung von Faktor 50 gehen kann.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

- 1 Druckmembran
- 1a schmaler Abschnitt der Druckmembran
- 1b Bereiche der Druckmembran mit größerer Breite
- 2 Einspannungsrahmen
- 3 biegesteifes Zentrum
- 4 piezoresistive Widerstände
- 5 Zwingen
- 6 Unterätzungen an den konvexen Ecken des biegesteifen Zentrums

Patentansprüche

1. Drucksensor für kleine Drücke aus Halbleitermaterial, bestehend aus einer drucksensitiven Druckmembran, einem Einspannungsrahmen, der monolithisch die Druckmembran trägt, und einem biegesteifen Zentrum, das monolithisch von der Druckmembran umschlossen wird, und dessen Druckmembran Teile eines elektromechanischen Wandlers enthält oder dessen biegesteifes Zentrum Bestandteil eines elektromechanischen Wandlers ist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Druckmembran aus mindestens zwei schmalen Abschnitten, deren Breite wesentlich kleiner ist als die Abmessungen des biegesteifen Zentrums sind und Bereichen, die diese schmalen Abschnitte verbinden und eine Breite aufweisen, die größer als die Breite der schmalen Abschnitte sind, besteht und daß die Druckmembran in allen Abschnitten eine gleichmäßige Dicke besitzt.
2. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der innere Teil des Einspannungsrahmens und das biegesteife Zentrum rechteckförmig sind, wobei die Rechtecke unterschiedliche Seitenverhältnisse aufweisen.
3. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das biegesteife Zentrum eine Kreisform und der innere Teil des Einspannungsrahmens eine Ellipsen- oder ellipsenähnliche Form besitzt.
4. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der innere Teil des Einspannungsrahmens Kreisform und das biegesteife Zentrum Ellipsen- oder ellipsenähnliche Form besitzt.
5. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der innere Teil des Einspannungsrahmens und das biegesteife Zentrum Quadrat-, Rechteck-, Achteck- oder Kreisform besitzen und der Einspannungsrahmen und das biegesteife Zentrum Zwingen aufweisen, die die schmalen Abschnitte der Druckmembran bilden.
6. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der innere Teil des Einspannungsrahmens Rechteck- oder Quadratform besitzt, daß das biegesteife Zentrum eine aus einer Rechteck- oder Quadratform durch Unterätzung der konvexen Ek-

ken erzeugte Form besitzt und die schmalen Abschnitte der Druckmembran durch die unterätzten konvexen Ecken des biegesteifen Zentrums in ihrer flächenmäßigen Ausdehnung begrenzt sind.

7. Drucksensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die schmalen Abschnitte der Druckmembran durch unterätzte konvexe Ecken der Zwingen des Einspannungsrahmens oder des biegesteifen Zentrums oder des Einspannungsrahmens und des biegesteifen Zentrums in ihrer flächenmäßigen Ausdehnung begrenzt sind.

8. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die schmalen Abschnitte der Druckmembran als mechanoelektrische Wandler piezoresistive Widerstände enthält, oder sich auf ihnen piezoresistive Widerstände oder piezoelektrische Schichten befinden.

9. Drucksensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das biegesteife Zentrum oder ein Teil des biegesteifen Zentrums die druckveränderliche Elektrode eines Kondensators ist.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

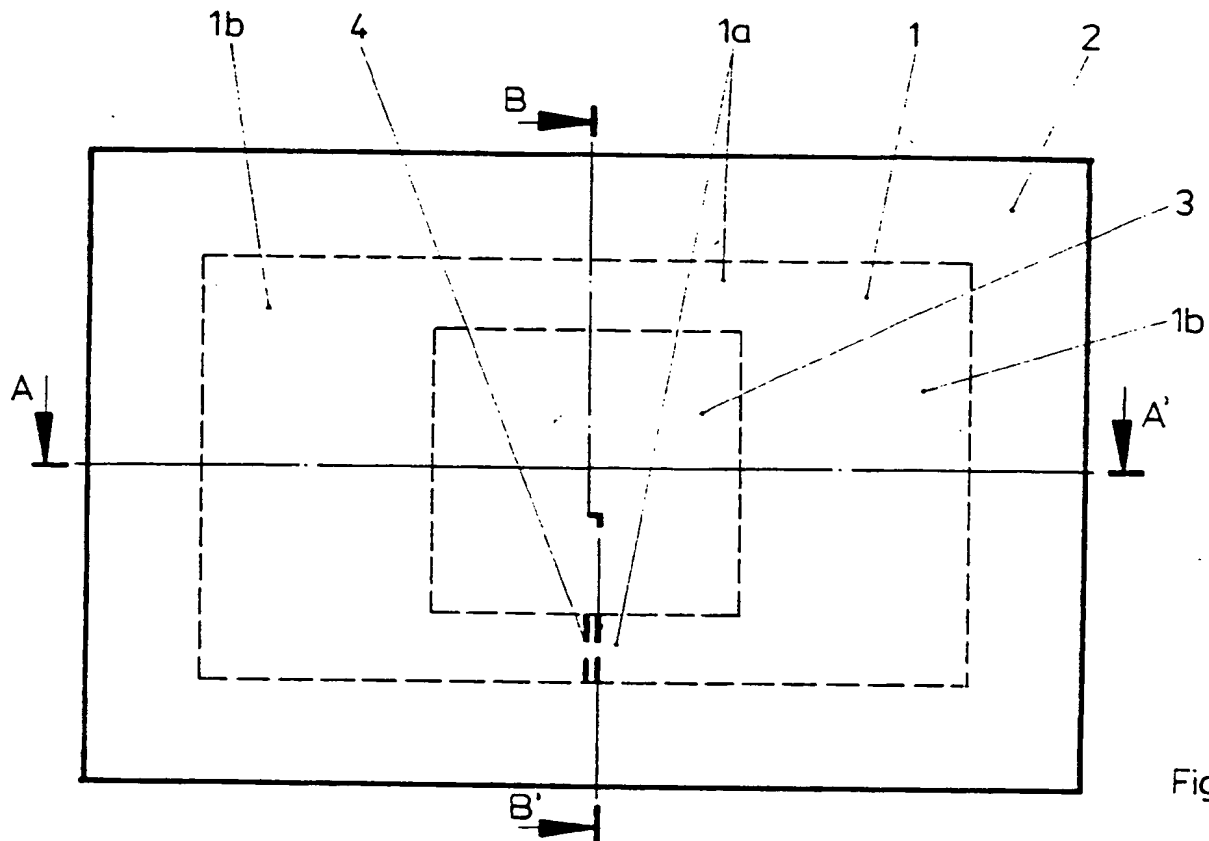


Fig. 1

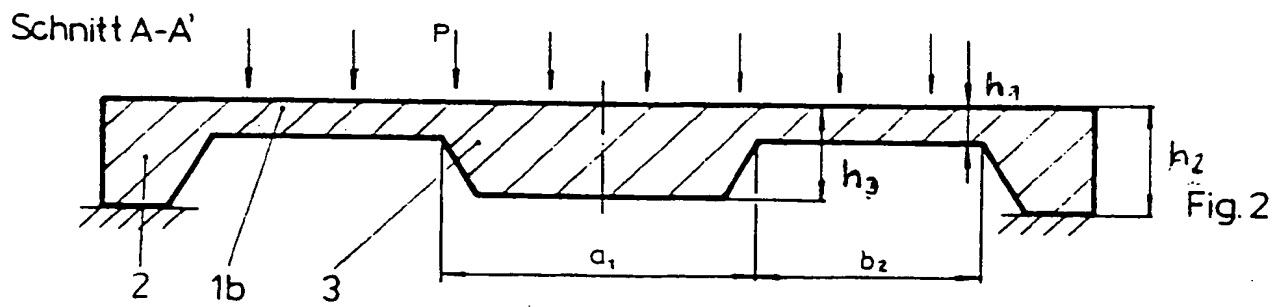


Fig. 2

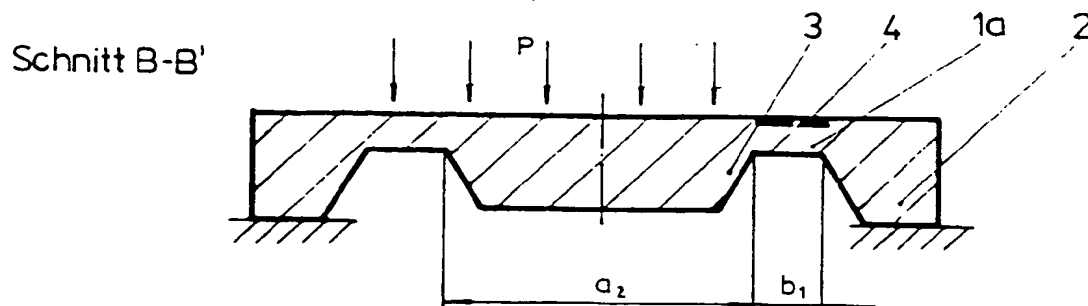


Fig. 3

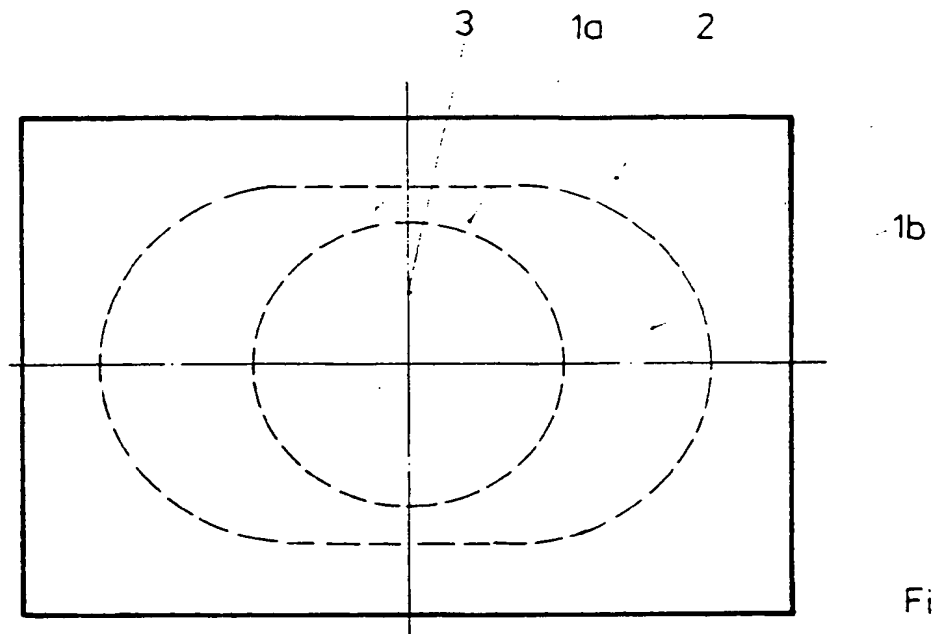


Fig. 4

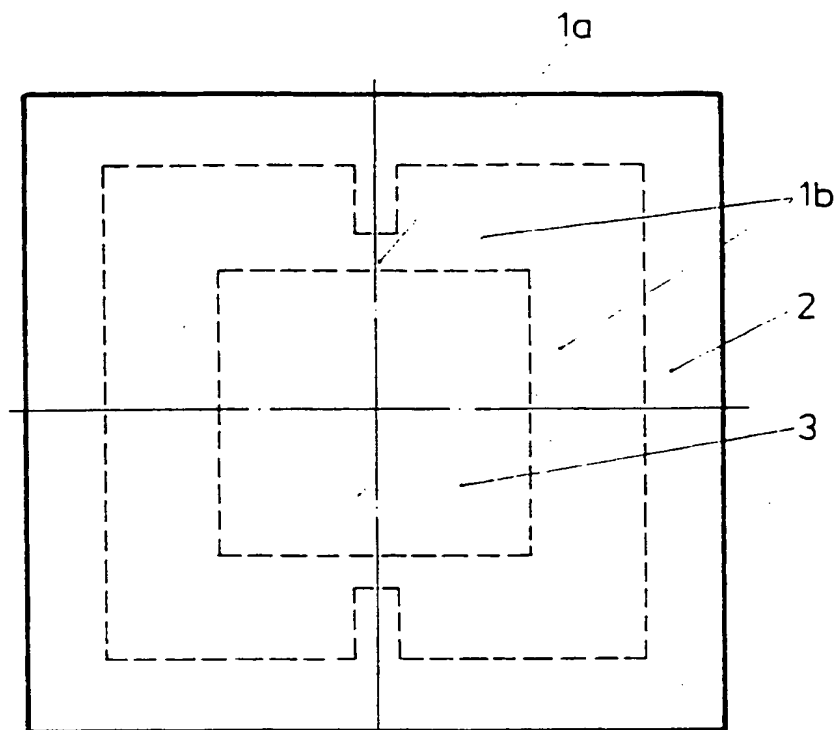


Fig. 5

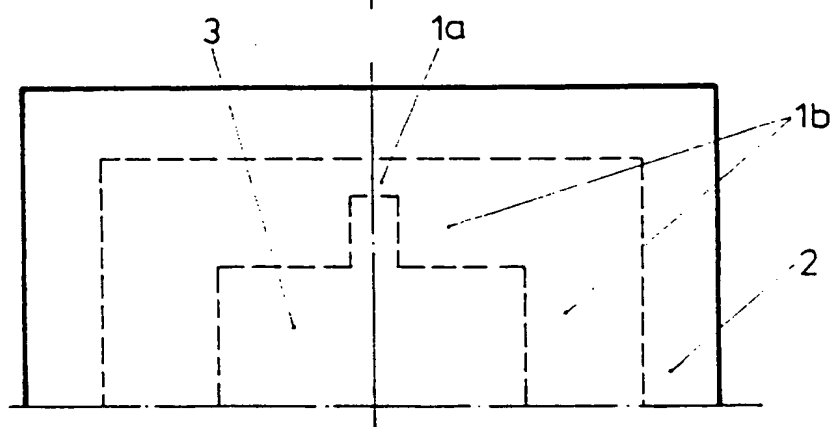


Fig. 6

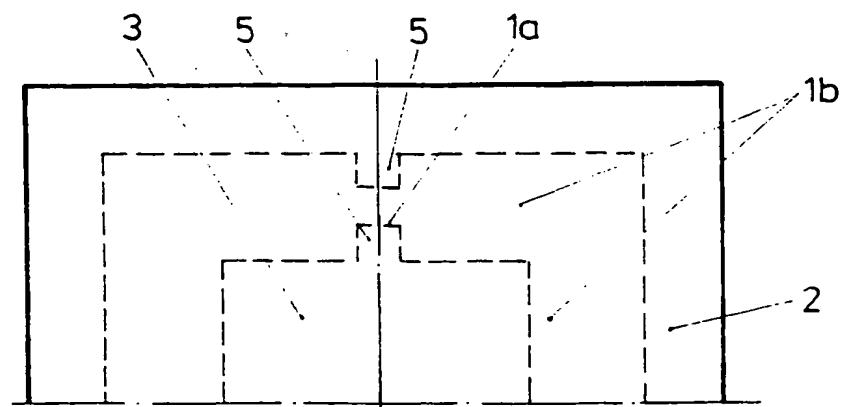


Fig. 7

